

屋内環境の3次元復元に関する研究

著者	鈴木 遼雅
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	86
号	1
ページ	224-225
発行年	2017-08
URL	http://hdl.handle.net/10097/00121443

修士学位論文要約（平成29年 3 月）

屋内環境の 3 次元復元に関する研究

鈴木 遼雅

指導教員：青木 孝文

3D Reconstruction of Indoor Scene

Ryoga SUZUKI

Supervisor: Takafumi AOKI

3D point clouds of indoor scenes reconstructed from multi-view images include outliers caused by matching errors around object boundaries and poor-textured areas. To remove such outliers, this paper proposes a 3D reconstruction method combining PatchMatch Stereo and the Manhattan-world assumption for indoor scenes. PatchMatch Stereo estimates depth and normal maps by repeating spatial and view propagation of depth and normal maps. The Manhattan-world assumption assumes that most objects in indoor scenes are structured based on the Cartesian coordinate system. A 3D point cloud reconstructed by PatchMatch Stereo is classified into areas having the three major normal vectors by the Manhattan-world assumption. Outliers are removed by evaluating the consistency between estimated and classified normal vectors. Through a set of experiments, we demonstrate the effectiveness of the proposed method for 3D reconstruction of indoor scenes.

1. はじめに

3 次元復元技術は、物体の形状や構造を計算機上で復元する技術であり、産業分野における製品検査や、医療分野における人体形状の解析などに用いられている。屋内の環境認識では、画像情報だけを用いて正確に物体の種類や位置を認識することが困難であるため、3 次元形状が用いられる。屋内環境の 3 次元復元では、レーザスキャナあるいはデプスセンサを用いた能動型の手法、あるいは、カメラを用いた受動型の手法が主に用いられている。多視点 3 次元復元は、異なる視点で撮影された複数枚の画像を用いて 3 次元形状を復元する受動型の手法である。カメラで撮影された画像のみを用いるため、能動型の手法と比較して利用者の負担が小さい。一方で、受動型の手法には、復元精度が低いという問題がある。そこで、本論文では、多視点画像のための PatchMatch Stereo¹⁾ と Manhattan world 仮説²⁾ を用いた屋内環境の 3 次元復元手法を提案する。提案手法では、物体境界やテクスチャの乏しい平面で生じている外れ点を除去することにより、復元精度を向上させる。PatchMatch Stereo は、デプスと法線を隣接画素および他の画像に伝播しながら更新することで効率的にデプスマップを求める手法である。Manhattan world 仮説とは、直交座標系を構成する面で屋内環境や都市環境にある構造物を表現できるという仮説である。Manhattan world 仮説が成立する環境の 3 次元復元を行う場合、座標系の基本ベクトルである Manhattan Frame (MF) を用いることで物体平面の法線方向に制約を与えることができる。一般的な 3 次元復元手法では、デプスあるいは

3 次元点群しか得られないが、PatchMatch Stereo は、デプスと同時に法線も推定するため、MF 推定を行う際に改めて法線推定を行う必要がない。提案手法では、PatchMatch Stereo で推定された法線を用いて、Manhattan world 仮説に基づく外れ点除去を行う。屋内環境を模したミニチュアを用いた性能評価実験を通して、提案手法の有効性を実証する。

2. PatchMatch Stereo と Manhattan world 仮説を用いた屋内環境の 3 次元復元

提案手法では、まず、PatchMatch Stereo を用いた多視点 3 次元復元によって屋内環境の 3 次元形状を復元し、法線を用いて MF 推定を行う。次に、MF を利用して 3 次元点群のクラスタリングを行い、外れ点となる領域を除去する。

2.1 PatchMatch Stereo を用いた多視点 3 次元復元

PatchMatch Stereo を用いた多視点 3 次元復元では、各視点のデプスマップと法線マップを生成する。デプスマップは、画像中の各画素における奥行き（デプス）を保存したマップであり、法線マップは、各画素における 3 次元点の法線方向を保存したマップである。PatchMatch Stereo を用いた多視点 3 次元復元では、乱数による奥行きと法線の初期化処理の後、(i) 隣接画素への伝播処理 (Spatial propagation), (ii) 近傍視点への伝播処理 (View propagation), (iii) 乱数による調整処理 (Plane refinement) の 3 ステップを繰り返し実行することで、奥行きと法線を推定する。そして、各視点のデプスマップと法線マップから各画素の 3 次元座標と法線ベクトルを計算し、そ

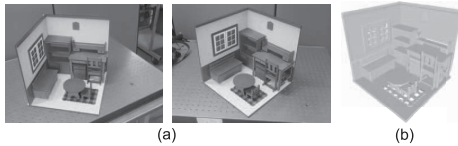


図1 実験で用いるミニチュアの (a) 多視点画像の例と (b) 真値モデル

れらを統合することで、3次元点群を得る。

2.2 スパースモデリングを用いた MF 推定

提案手法では、スパースモデリングを用いた手法³⁾で MF 推定を行う。3次元点群の座標系を回転させて、標準基底ベクトルもしくはその鏡映 ($[\pm 1, 0, 0]^T$, $[0, \pm 1, 0]^T$ および $[0, 0, \pm 1]^T$) を MF とする座標系に変換する。このとき、交互最適化を用いて座標変換のための回転行列を推定する。MF に沿わない法線を除去して繰り返し最適化を行うことで、法線の推定誤差にロバストな MF を得ることができる。

2.3 MF を用いた外れ点の除去

提案手法では、3次元点群を MF に基づいてラベリングし、3次元点間の距離と MF のラベルに基づくクラスタリングを行うことで外れ点を除去する。まず、各3次元点における法線と、MF の3軸それぞれについて、ベクトルの内積の絶対値を計算する。その値に基づいて、MF の3軸のいずれかに属する点、もしくは、MF のどれにも属さない点の4つにラベリングする。次に、MF のラベルに基づくクラスタリングを行う。各3次元点について、最近傍点との距離が閾値以下で、かつ、MF のラベルが同一であった場合、それらの点を同一のクラスと判定する。最後に、点の数が少ないクラスを外れ点とみなして除去する。

3. 性能評価実験

屋内環境を模したミニチュア模型の形状を提案手法で復元し、その復元精度の定量的な評価を行う。本実験では、単眼カメラで移動撮影した15枚の画像を使用する。また、レーザスキャナを用いてミニチュアの形状を計測し、精度評価のための真値モデルとする。図1に、本実験で用いる多視点画像の例と真値モデルを示す。本実験では、3次元点同士の距離についての閾値を0.65mmとし、点の数が1,000未満のクラスを外れ点として除去する。PatchMatch Stereoを用いた多視点3次元復元で得られた3次元点群を図2(a)に、MFを用いて復元点群をラベリングし、ラベルごとに色分けを行った点群を図2(b)に、MFを用いて外れ点の除去を行った点群を図2(c)に示す。また、Iterative Closest Point アルゴリズムを用いて、外れ点除去を行う前後の3次元点群と真値モデルの位置合わせを行い、位置合わせ

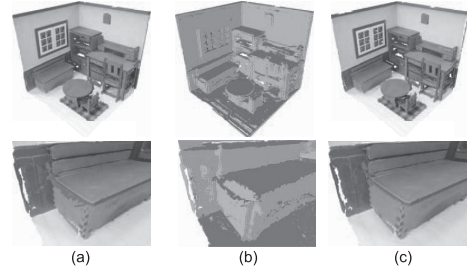


図2 MFを用いた外れ点の除去: (a) 外れ点除去を行う前, (b) MFを用いたラベリング, (c) 外れ点除去を行った後

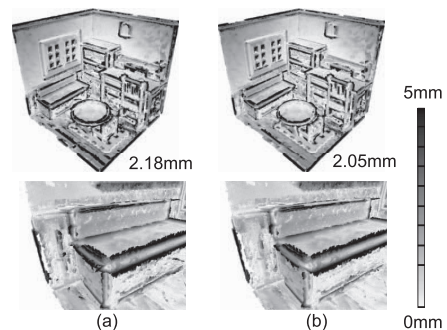


図3 復元誤差を示す誤差マップ (数値は復元誤差のRMS): (a) 外れ点除去を行う前, (b) 外れ点除去を行った後

誤差を復元誤差とする。3次元点の復元誤差を輝度値で表した誤差マップと、復元誤差の Root Mean Square (RMS) を図3に示す。図3より、提案手法を用いることで、復元誤差が大きい領域を外れ点として除去できていることが確認できる。

4. まとめ

本論文では、PatchMatch Stereo と Manhattan world 仮説を用いた屋内環境の3次元復元手法を提案した。屋内環境を模したミニチュアを用いた実験を通して、提案手法の有効性について評価を行った。

文献

- 1) M. Hiradate, K. Ito, T. Aoki, T. Watanabe, and H. Unten, "An extension of PatchMatch Stereo for 3D reconstruction from multi-view images," *Proc. Asian Conf. Pattern Recognition*, pp. 061–065, Nov. 2015.
- 2) J. M. Coughlan and A. L. Yuille, "Manhattan world: Compass direction from a single image by Bayesian inference," *Proc. Int'l Conf. Computer Vision*, pp. 941–947, Sept. 1999.
- 3) B. Ghanem, A. Thabet, J. C. Niebles, and F. C. Heilbron, "Robust Manhattan frame estimation from a single RGB-D image," *Proc. IEEE Comp. Soc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 3772–3780, June 2015.